

第 1 章 绪 论

内容提要

- ★ 数控仿真技术简介
- ★ 数控仿真技术的教学应用与特点
- ★ 数控仿真技术的组成

机床数控技术是 20 世纪 70 年代发展起来的一种机床自动控制技术。30 多年来随着计算机、传感与检测、自动控制及机械制造等技术的不断进步,机床数控技术得到了迅速的发展。数控机床作为典型的机电一体化产品,是高新技术的重要组成部分,采用数控机床提高机械工业的数控化率,已成为当前机械制造技术更新的必由之路。近年来,随着企业数控机床应用率的大幅度提高,数控机床的操作技能培养成为各类职业院校一个亟待解决的问题。而数控机床是高技术产品,价格较昂贵,许多院校受场地和资金的限制,无法购置大量的数控机床来供学生实训。另一方面,学生直接在数控机床上进行操作练习,容易因为培训中的误操作而导致昂贵设备的损坏。因此,如何根据各院校的具体情况,在满足数控专业教学和实训需要的同时,做到“少花钱、多办事”,是各类职业院校面临的迫切问题。

数控加工仿真系统是结合机床厂家实际加工制造经验与高校(含职业技术学院、中等专业学校、技工学校和职业学校)教学训练一体化所开发的一种机床控制虚拟仿真系统软件,可以满足大批量学生的教学需求。实践课程教学的目的主要是对原理的验证,学生可利用数控加工仿真系统进行仿真操作,同样会起到真实设备的教学效果。仿真软件还可以依据不同的客户要求设计,尤其适于初学者的入门学习,一方面通过该软件可以使学生达到实物操作训练的目的,并且安全可靠;另一方面通过动态的仿真操作使教学过程易教易学,能使教学效果显著提高。

1.1 数控仿真技术的发展与应用

1.1.1 数控仿真技术简介

在数控加工过程中,为检查数控程序的正确性,传统上采用试切的方法,但这种方法费工费料,代价昂贵,也延长了产品生产周期。后来又采用轨迹显示法,即用计算机控制铅笔绘图器,以笔代替刀具,以纸代替毛坯来仿真刀具运动轨迹的二维图形。这种方法可以显示二轴加工轨迹,也可以检查一些大的错误,但其运动仅限于平面,局限性很大。为此,人们一直在研究能逐步代替试切的仿真方法,并在试切环境的模型化、仿真计算和图形显示等方面取得了重要的进展。在这种情况下,数控加工的计算机仿真技术应运而生。

数控仿真技术是研究和设计复杂系统的一种新型和有效的工具。所谓数控加工仿真,就是采用计算机图形学的手段对加工走刀和零件切削过程进行模拟,具有快速、仿真度高、

成本低等优点。它采用可视化技术,通过仿真和建模软件,模拟实际的加工过程,在计算机屏幕上将铣、车、钻、镗等加工方法的加工路线描绘出来,并能提供错误信息的反馈,使工程技术人员能预先看到制造过程,及时发现生产过程中的不足,有效预测数控加工过程和切削过程的可靠性及高效性,此外,还可以对一些意外情况进行控制。数控加工仿真代替了试切等传统的走刀轨迹的检验方法,大大提高了数控机床的有效工时和使用寿命,因此在制造业得到了越来越广泛的应用。

1.1.2 数控仿真技术的教学应用

数控仿真系统可以模拟实际设备加工环境及其工作状态,为验证数控程序的可靠性、防止干涉和碰撞的发生以及预测加工过程提供了强有力的工具。

针对目前计算机的普及以及在数控机床实验机上教学的诸多不便,结合数控加工技术的教学实践,基于计算平台的数控加工仿真教学系统,被用于数控操作人才的培训和教学。在培训和教学过程中,数控机床的模拟通过计算机屏幕上的仿真操作面板进行操作,而零件切削过程可在机床仿真模型上进行三维动画演示,仿真加工和操作几乎和实际机床的真实情况一样。

数控加工仿真系统具有 FANUC、SIEMENS、MITSUBISHI 等众多数控系统的功能,学生通过在计算机上操作此类软件,在很短时间内就能掌握数控车、数控铣及加工中心的操作。

数控加工仿真系统功能较为完善,适合于教学的使用,其中语法诊断和模拟示教功能可以使学生进行人机交互式学习。即由学生输入 NC 程序,在模拟运行过程中,系统能及时提供错误信息、刀具相对移动轨迹的显示以及最终加工的立体效果,再由学生经过简单判断就能很容易地发现和修改 NC 程序的错误,从而避免教师直接面对学生而可能伤害学生的自尊,也大大减轻了教师批改学生 NC 程序作业时的繁重负担,使教师能够集中精力帮助学生解决实际问题,保证了教学质量,使教学效果得到显著提高。

在操作方面,由于数控加工仿真系统采用了与数控机床操作系统相同的面板和按键功能,并且使用数控加工仿真系统在操作中即使出现人为的编程或操作失误也不会危及机床和人身安全,反而学生还可以从中吸取大量的经验和教训。所以说它是初学者理想的实验、实践工具,只要经过短期的专门训练,学生很快就能够适应数控系统的实际操作方法,从而为以后技能的进一步深造打下坚实的基础。由于是在教学中边教边学、边学边做、在学中做、在做中学,学生的积极性被调动起来,老师也在教学活动中得到解放,和学生一样感到非常轻松,大大提高了教学效果。

1.2 数控仿真技术的教学特点与组成

1.2.1 数控仿真技术的教学特点

- (1) 系统完全模拟真实数控机床的控制面板和屏幕显示,可轻松操作。
- (2) 在虚拟环境下对 NC 代码的切削状态进行检验,操作安全。
- (3) 用户可看到真实的三维加工仿真过程,仔细检查加工后的工件,可以更迅速地掌

握数控机床的操作过程。

(4) 采用虚拟机床替代真实机床进行培训, 在降低费用的同时获得更佳培训效果, 使用更经济。

1.2.2 数控仿真技术的组成

(1) 仿真环境: 由机床、工件、夹具、刀具库构成。

(2) 仿真过程: 包括几何仿真和力学仿真两个部分。几何仿真将刀具与零件视为刚体, 不考虑切削参数、切削力等其他物理因素的影响, 只仿真刀具、工件几何体的运动来验证 NC 程序的正确性。切削过程的力学仿真属于物理仿真范畴, 需要考虑精度分析等影响加工质量的因素, 它通过仿真切削过程的动态力学特性来预测刀具破损、刀具振动, 控制切削参数, 从而达到优化切削过程。

第 2 章 数控编程基础

内容提要

- ★ 数控机床的坐标系
- ★ 程序编制的内容
- ★ 程序的构成
- ★ 数控程序编制的工艺处理

2.1 数控机床的坐标系

2.1.1 坐标轴和运动方向的命名原则

规定数控机床的坐标轴及运动方向,是为了准确地描述机床的运动,简化程序的编制方法,并使所编程序有互换性。目前国际标准化组织已经统一了标准坐标系。我国原机械工业部也颁布了 JB 3051—1982《数字控制机床坐标和运动方向的命名》的标准,对数控机床的坐标轴和运动方向做了明文规定。

为了使编程人员在加工零件时,不知道是刀具移向工件,还是工件移向刀具的情况下,就可以根据图样确定机床的加工过程,特别规定:永远假定刀具相对于静止的工件坐标系而运动。

2.1.2 标准坐标系的规定

在数控机床上加工零件,机床的动作是由数控系统发出的指令来控制的。为了确定机床的运动方向和移动的距离,就要在机床上建立一个坐标系,这个坐标系就叫标准坐标系,也叫机床坐标系。在编制程序时,就可以以该坐标系来规定运动方向和距离。

数控机床上的坐标系是采用右手直角笛卡儿坐标系,如图 2-1 所示。在图中,大拇指的方向为 X 轴的正方向;食指为 Y 轴的正方向;中指为 Z 轴的正方向。

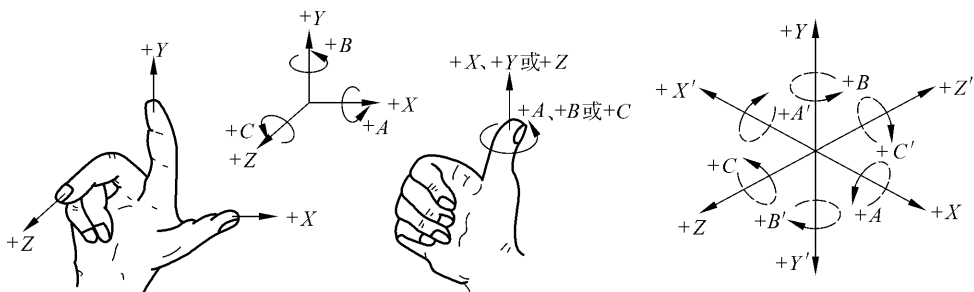


图 2-1 右手直角笛卡儿坐标系

2.1.3 运动方向的确定

JB 3051—1982 中规定：机床某一部件运动的正方向，是增大工件和刀具之间距离的方向。

1. Z 坐标的运动

Z 坐标的运动由传递切削力的主轴所决定，与主轴轴线平行的坐标轴即为 Z 轴。由于车床、磨床等是主轴带动工件旋转，铣床、钻床、镗床等是主轴带着刀具旋转，那么与主轴平行的坐标轴即为 Z 坐标。如果机床没有主轴（如牛头刨床），则 Z 轴垂直于工件装卡面。

Z 坐标的正方向为增大工件与刀具之间距离的方向。如在钻镗加工中，钻入和镗入工件的方向为 Z 坐标的负方向，而退出为正方向。

2. X 坐标的运动

X 坐标是水平的，它平行于工件的装夹面。这是在刀具或工件定位平面内运动的主要坐标。对于工件旋转的机床（如车床、磨床等），X 坐标的方向是在工件的径向上，且平行于横滑座。刀具离开工件旋转中心的方向为 X 轴正方向。对于刀具旋转的机床（如铣床、镗床、钻床等），若 Z 轴是垂直的，则当从刀具主轴向立柱看时，X 运动的正方向指向右方。若 Z 轴（主轴）是水平的，则当从主轴向工件方向看时，X 运动的正方向指向右方。

3. Y 坐标的运动

Y 坐标轴垂直于 X、Z 坐标轴。Y 运动的正方向根据 X 和 Z 坐标的正方向，按照右手直角笛卡儿坐标系来判断。

4. 旋转运动 A、B 和 C

A、B 和 C 相应地表示其轴线平行于 X、Y 和 Z 坐标的旋转运动。A、B 和 C 的正方向，相应地表示在 X、Y 和 Z 坐标正方向上按照右旋螺纹前进的方向，如图 2-1 所示。

5. 附加坐标

如果在 X、Y、Z 主要坐标以外，还有平行于它们的坐标，可分别指定为 U、V、W。如还有第三组运动，则可分别指定为 P、Q 和 R。

6. 对于工件运动时的方向判别

对于工件运动而不是刀具运动的机床，必须将前述为刀具运动所做的规定做相反的安排。用带“'”的字母，如 $+X'$ ，表示工件相对于刀具的正向运动指令。而不带“'”的字母，如 $+X$ ，则表示刀具相对于工件的正向运动指令。二者表示的运动方向正好相反。对于编程人员、工艺人员，只考虑不带“'”的运动方向。

7. 主轴旋转运动的方向

主轴的顺时针旋转运动方向（正转）是按照右旋螺纹旋入工件的方向。

2.1.4 绝对坐标系与增量（相对）坐标系

1. 绝对坐标系

刀具（或机床）运动轨迹的坐标值是以相对于固定的坐标原点 O 给出的，即称为绝对坐标，该坐标系称为绝对坐标系。如图 2-2(a) 所示，A、B 两点的坐标均以固定的坐标原点 O 计算，其值为： $X_A=10, Y_A=20, X_B=30, Y_B=50$ 。

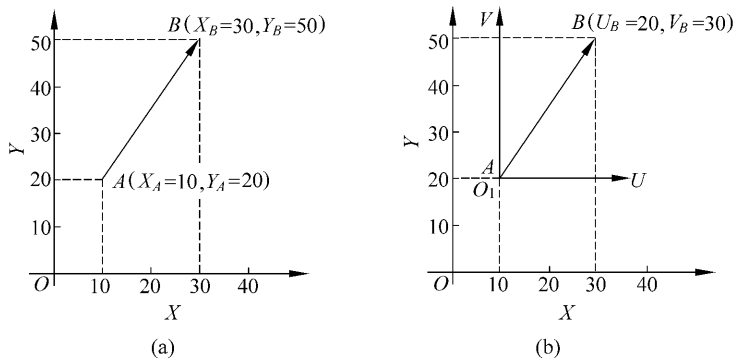


图 2-2 绝对坐标与增量坐标

(a) 绝对坐标; (b) 增量坐标

2. 增量(相对)坐标系

刀具(或机床)运动轨迹的坐标值是相对于前一位置(或起点)来计算的,即称为增量(或相对)坐标,该坐标系称为增量坐标系。

增量坐标系常用代码表中的 U 、 V 、 W 表示。 U 、 V 、 W 分别表示与 X 、 Y 、 Z 平行且同向的坐标轴。如图 2-2(b)所示, B 点相对于 A 点的坐标(即增量坐标)为 $U_B = 20$ 、 $V_B = 30$, U - V 坐标系称为增量坐标系。

2.2 数控机床程序编制的内容

2.2.1 数控编程的内容

数控编程的主要内容有分析零件图样、确定加工工艺过程、数值计算、编写零件加工程序、制作控制介质、校对程序及首件试切。

2.2.2 数控编程的步骤

数控编程的步骤一般如图 2-3 所示。

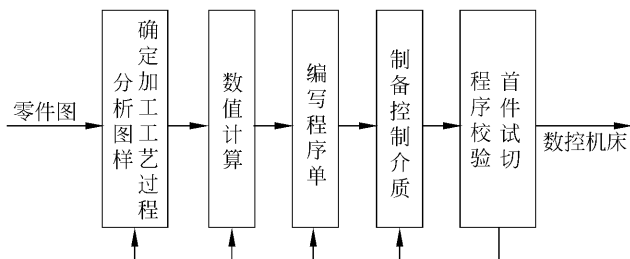


图 2-3 数控编程的步骤

1. 分析图样、确定加工工艺过程

在确定加工工艺过程时,编程人员要根据图样对工件的形状、尺寸、技术要求进行分析,然后选择加工方案,确定加工顺序、加工路线、装夹方式、刀具及切削参数,同时还要考虑所

用数控机床的指令功能,充分发挥机床的效能。确定加工工艺过程时,要注意选择短的加工路线,同时要正确选择对刀点和换刀点,以减少换刀次数。

2. 数值计算

根据零件图的几何尺寸、确定的工艺路线及设定的坐标系,计算零件粗、精加工的各运动轨迹,得到刀位数据。对于点定位控制的数控机床(如数控冲床),一般不需要计算。当零件图样坐标系与编程坐标系不一致时,需要对坐标进行换算。对于形状比较简单的零件(如直线和圆弧组成的零件),加工其轮廓时需要计算出几何元素的起点、终点、圆弧的圆心、两几何元素的交点或切点的坐标值,有的还要计算刀具中心的运动轨迹坐标值。对于形状比较复杂的零件(如非圆曲线、曲面组成的零件),需要用直线段或圆弧段逼近,根据要求的精度计算出节点坐标值,这种情况一般要用计算机来完成数值计算的工作。

3. 编写程序单

加工路线、工艺参数及刀位数据确定以后,编程人员可以根据数控系统规定的功能指令代码及程序段格式,逐段编写加工程序单。此外,还应填写有关的工艺文件,如数控加工工序卡片、数控刀具卡片、数控刀具明细表、工件安装和零点设定卡片、数控加工程序单等。

4. 制备控制介质

制备控制介质,即把编制好的程序单上的内容记录在控制介质上作为数控装置的输入信息。我国数控机床上使用的控制介质一般都为穿孔纸带,穿孔纸带是按照国际标准化组织(international standardization organization, ISO)或美国电子工业学会(electronic industries association, EIA)的标准代码制成的。穿孔纸带上的程序代码,通过纸带阅读装置送入数控系统。穿孔纸带的特点是不受环境因素的影响(如磁场),不易损坏。

5. 程序校验与首件试切

程序单和制备好的控制介质必须经过校验和试切才能正式使用。校验的方法是直接将控制介质上的内容输入到数控装置中,让机床空运转,即以笔代刀,以坐标纸代替工件,画出加工路线,以检查机床的运动轨迹是否正确。在有 CRT 图形显示屏的数控机床上,用模拟刀具与工件切削过程的方法进行检验更为方便。但这些方法只能检验出运动是否正确,不能查出被加工零件的加工精度,因此有必要进行零件的首件试切。当发现有加工误差时,应分析误差产生的原因,找出问题所在,加以修正。

从以上内容来看,作为一名编程人员,不但要熟悉数控机床的结构、数控系统的功能及标准,而且还必须是一名好的工艺人员,要熟悉零件的加工工艺、装夹方法、刀具、切削用量的选择等方面的知识。

2.3 数控机床程序的构成与格式

每种数控系统,根据系统本身的特点及编程的需要,都有一定的程序格式。机床不同,其程序的格式也不同。因此编程人员必须严格按照机床说明书的规定格式进行编程。

2.3.1 程序的结构

一个完整的程序由程序号、程序内容和程序结束 3 部分组成。

例如 O0001	程序号
N01 G92 X40 Y30;	} 程序内容
N02 G90 G00 X28 T01 S800 M03;	
N03 G01 X - 8 Y8 F200;	
N04 X0 Y0;	
N05 X28 Y30;	
N06 G00 X40;	
N07 M30;	程序结束

1. 程序号

程序号即为程序的开始部分,为了区别存储器中的程序,每个程序都要有程序编号,在编号前采用程序编号地址码。如在 FANUC Oi 系统中,一般采用英文字母“O”作为程序编号地址,而其他系统采用“P”,“%”以及“:”等。

2. 程序内容

程序内容部分是整个程序的核心,它由许多程序段组成,每个程序段由一个或多个指令构成,它表示数控机床要完成的全部动作。

3. 程序结束

程序结束是以程序结束指令 M02 或 M30 作为整个程序结束的符号,来结束整个程序。

2.3.2 程序段格式

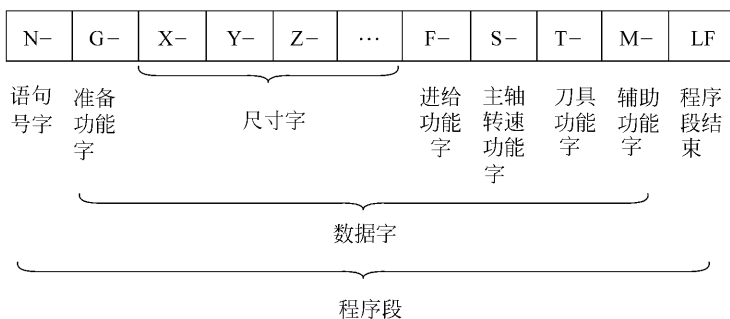
零件的加工程序是由程序段组成的,每个程序段由若干个数据字组成,每个字是控制系统的具体指令,它由表示地址的英文字母、特殊文字和数字集合而成。

程序段格式是指一个程序段中字、字符、数据的书写规则,通常有以下 3 种格式:

1. 地址程序段格式

地址程序段格式由语句号字、数据字和程序段结束组成。各字前有地址,各字的排列顺序要求不严格,数据的位数可多可少,不需要的字以及与上一程序段相同的续效字可以不写。该格式的优点是程序简短、直观并且容易检验、修改,故该格式在目前广泛使用。

地址程序段格式如下:



例如: N20 G01 X25 Y36 F100 S300 T02 M30;

(1) 语句号字: 用以识别程序段的编号。用地址码 N 和后面的若干位数字来表示。例如: N20 表示该语句的语句号为 20。

(2) 准备功能字(G 功能字): 使数控机床做好某种操作准备指令,用地址 G 和两位数

字来表示,从 G00~G99 共 100 种。

(3) 尺寸字: 尺寸字由地址码、+、- 符号及绝对值(或增量)的数值构成。尺寸字的地址码有 X、Y、Z、U、V、W、P、Q、R、A、B、C、I、J、K、D、H 等。例如: X20 Y40。尺寸字的“+”可省略。表示地址码的英文字母的含义如表 2-1 所示。

表 2-1 地址码中英文字母的含义

地 址 码	意 义	地 址 码	意 义
O、P	程序号、子程序号	P、Q、R	平行于 X、Y、Z 坐标的第三坐标
N	程序段号	A、B、C	绕 X、Y、Z 坐标的转动
X、Y、Z	X、Y、Z 方向的主运动	I、J、K	圆弧中心坐标
U、V、W	平行于 X、Y、Z 坐标的第二坐标	D、H	补偿号指定

(4) 进给功能字: 表示刀具中心运动时的进给速度。它由地址码 F 和后面若干位数字构成。这个数字的单位取决于每个数控系统所采用的进给速度的指定方法。如 F100 表示进给速度为 100 mm/min, 有的以 Fxx 表示, 后两位数字既可以是代码也可以是进给量的数值。具体内容见所用数控机床的编程说明书。

(5) 主轴转速功能字: 由地址码 S 和在其后面的若干位数字组成, 单位为转速单位(r/min)。例如: S800 表示主轴转速为 800 r/min。

(6) 刀具功能字: 由地址码 T 和若干位数字组成。刀具功能字的数字是指定的刀号, 数字的位数由所用系统决定。例如: T08 表示第 8 号刀。

(7) 辅助功能字(M 功能): 表示一些机床辅助动作的指令。用地址码 M 和后面两位数字表示, 从 M00~M99 共 100 种。

(8) 程序段结束: 写在每一程序段之后, 表示程序结束。当用 EIA 标准代码时, 结束符为“CR”, 用 ISO 标准代码时为“LF”。也有的用符号“:”或“*”表示。

2. 使用分隔符的程序段格式

这种格式预先规定了输入时可能出现的字的顺序, 在每个字前写一个分隔符“HT”, 这样就可以不使用地址符, 只要按规定的顺序把相应的数字跟在分隔符后面就可以了。

使用分隔符的程序段与地址程序段的区别在于用分隔符代替了地址符。在这种格式中, 重复的可以不写, 但分隔符不能省略。若程序中出现连在一起的分隔符, 表明中间略去一个数据字。

使用分隔符的程序格式一般用于功能不多且较固定的数控系统, 但程序不直观, 容易出错。

3. 固定程序段格式

这种程序段既无地址码也无分隔符, 各字的顺序及位数是固定的。重复的字不能省略, 所以每个程序段的长度都是一样的。这种格式的程序段长且不直观, 目前很少使用。

2.4 程序编制中的数值计算

2.4.1 数值计算的内容

根据零件图样, 按照已确定的加工路线和允许的编程误差, 计算数控系统所需输入的数据, 称为数控加工的数值计算。手工编程时, 在完成工艺分析和确定加工路线以后, 数值计

算就成为程序编制中一个关键性的环节。除了点位加工这种简单的情况外,一般须经烦琐、复杂的数值计算。为了提高工效,降低出错率,有效的途径是计算机辅助完成坐标数据的计算,或直接采用自动编程。

1. 基点和节点的计算

一个零件的轮廓往往是由许多不同的几何元素组成的,如直线、圆弧、二次曲线以及阿基米德螺线等。各几何元素间的连接点称为基点,如两直线间的交点、直线与圆弧或圆弧与圆弧间的交点或切点、圆弧与二次曲线的交点或切点等。显然,相邻基点间只能是一个几何元素。对于由直线与直线或直线与圆弧构成的平面轮廓零件,由于目前一般机床数控系统都具有直线、圆弧插补功能,故数值计算比较简单。此时,主要应计算出基点坐标与圆弧的圆心点坐标。当零件的形状是由直线段或圆弧段之外的其他曲线构成,而数控装置又不具备该曲线的插补功能时,其数值计算就比较复杂。将组成零件轮廓的曲线,按数控系统插补功能的要求,在满足允许的编程误差的条件下进行分割,即用若干直线段或圆弧段来逼近给定的曲线,逼近线段的交点或切点称为节点。

如图 2-4 所示,图(a)为用直线段逼近非圆曲线的情况,图(b)为用圆弧段逼近非圆曲线的情况。编写程序时,应按节点划分程序段。逼近线段的近似区间愈大,则节点数目愈少,相应的程序段的数目也会减少,但逼近线段的误差 δ 应小于或等于编程允许误差 $\delta_{允}$,即 $\delta \leq \delta_{允}$ 。考虑到工艺系统及计算误差的影响, $\delta_{允}$ 一般取零件公差 的 $1/10 \sim 1/5$ 。

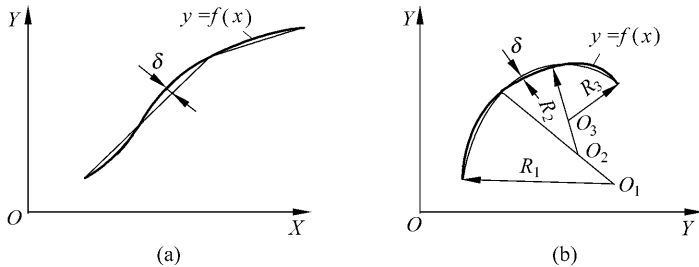


图 2-4 曲线的逼近

立体型面零件应根据程序编制允许误差,将曲面分割成不同的加工截面,各加工截面上的轮廓曲线也要计算基点或节点。

由上述可知,基点和节点坐标数据的计算,是数值计算中最烦琐最复杂的计算。

2. 刀位点轨迹的计算

对刀是通过一定的测量手段使刀位点与对刀点重合,数控系统从对刀点开始控制刀位点运动,并由刀具的切削刃部分加工出符合要求的零件轮廓。对于平面轮廓的加工,车削加工时,可以用车刀的假想刀尖点作为刀位点,也可以用刀尖圆弧半径的圆心作为刀位点。铣削加工时,用平底立铣刀的刀底中心作为刀位点。但无论如何,零件的轮廓形状总是由刀具切削刃部分直接参与切削过程完成的。因此,在大多数情况下,编程轨迹并不与零件轮廓完全重合。对于具有刀具半径补偿功能的机床数控系统,只要在编写程序时在程序的适当位置写入建立刀补的有关指令,就可以保证在加工过程中,使刀位点按一定的规则自动偏离编程轨迹,达到正确加工的目的。这时可直接按零件轮廓形状计算各基点和节点坐标,并作为编程时的坐标数据。

某些简易数控系统,例如简易数控车床,只有长度偏移功能而无半径补偿功能,编程时

为保证精确地加工出零件轮廓,就需要做某些偏置计算。用球头刀加工三坐标立体型面零件时,程序编制要算出球头刀球心的运动轨迹,而由球头刀的外缘切削刃加工出零件轮廓。带摆角的数控机床加工立体型面零件或平面斜角零件时,程序编制要算出刀具摆动中心的轨迹和相应的摆角值,数控系统控制刀具摆动中心运动时,由刀具端面和侧刃加工出零件轮廓。

3. 辅助计算

辅助计算包括增量计算、辅助程序段的数值计算等。

增量计算是仅有增量坐标的数控系统或绝对坐标系统中,某些数据仍要求以增量方式输入时,所进行的由绝对坐标数据到增量坐标数据的转换。如在数值计算过程中,按绝对坐标值计算出某运动段的起点坐标及终点坐标,以增量方式表示时,其换算公式为:

$$\text{增量坐标值} = \text{终点坐标值} - \text{起点坐标值}$$

计算应在各坐标轴方向上分别进行。例如:要求以直线插补方式,使刀具从 a 点(起点)运动到 b 点(终点),已计算出 a 点坐标为 (x_a, y_a) , b 点坐标为 (x_b, y_b) ,若以增量方式表示时,其 X 、 Y 轴方向上的增量分别为 $\Delta x = x_b - x_a$, $\Delta y = y_b - y_a$ 。

辅助程序段是指开始加工时,刀具从对刀点到切入点,或加工结束时,刀具从切出点返回到对刀点而特意安排的程序段。切入点位置的选择应依据零件加工余量的情况,适当离开零件一段距离。切出点位置的选择,应避免刀具在快速返回时发生撞刀,也应留出适当的距离。使用刀具补偿功能时,建立刀补的程序段应在加工零件之前写入,加工完成后应取消刀补。某些零件的加工,要求刀具“切向”切入和“切向”切出。按以上程序段的安排计算各相关点的坐标,其数值计算一般比较简单。

2.4.2 由直线和圆弧组成零件轮廓时的基点计算

如图 2-5 所示,已知直线方程为 $y = kx + b$,求以点 (x_0, y_0) 为圆心,半径为 R 的圆与该直线的交点坐标 (x_c, y_c) 。

直线方程与圆方程联立,得联立方程组:

$$\begin{cases} (x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 = R^2 \\ y = kx + b \end{cases}$$

经推算后可给出标准计算公式如下:

$$A = 1 + k^2$$

$$B = 2[k(b - y_0) - x_0]$$

$$C = x_0^2 + (b - y_0)^2 - R^2$$

$$x_c = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A}$$

(求 x_c 较大值时取“+”,较小值时取“-”)

$$y_c = kx_c + b$$

上式也可用于求解直线与圆相切时的切点坐标。当直线与圆相切时,取 $B^2 - 4AC = 0$,此时 $x_c = -B/2A$,其余计算公式不变。

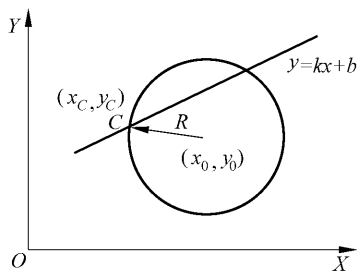


图 2-5 直线与圆弧相交

2.4.3 刀位点轨迹的坐标计算

1. 刀位点的选择及对刀

刀位点是刀具上代表刀具在工件坐标系中所在位置的一个点。编程时用该点的运动来

描述刀具的运动,运动所形成的轨迹称为编程轨迹。刀位点是仅就刀具作平动的数控加工而言的,对于包含刀具轴线摆动的四坐标或五坐标数控加工,应使用刀位矢量的概念。在不使用刀具补偿功能编写程序时,编程轨迹就是刀具上刀位点的实际运动轨迹。采用刀具补偿功能之后,情况就发生了变化。刀具半径补偿功能,将使实际的刀位点运动轨迹偏移一个刀具半径补偿值;而刀具长度补偿功能则可使由于刀具长度的变化,不在编程轨迹对刀点(又称为起刀点)处的刀位点,在运动中恢复到编程轨迹。

对于旋转型的刀具,如各种立铣刀、钻头,刀位点的选择是比较简单的,应使刀位点位于刀具轴线某一确定的位置上。对于平底立铣刀,选择刀底中心为刀位点。对于球形立铣刀可以用球心作为刀位点,也可以用刀端点作为刀位点。用刀端点作为刀位点时,可以直接测量其位置;而用球心作刀位点时,还应测量刀端点,然后再换算为球心点坐标。钻头类刀具,通常用钻头的钻尖位置作为刀位点,但编程时,应根据图样上对孔加工的尺寸标注,适当增加出钻尖的长度。数控车床使用的刀具,由于刀具的结构特点不同,刀位点的选择有时比较复杂。目前数控车床用机夹可转位刀片,刀尖处均含有半径不大的圆弧,数控编程时,通常均应考虑刀尖圆弧半径对零件加工尺寸的影响。还有一些刀具,如切槽刀,实际上存在两个刀尖位置,选择哪个位置作为刀位点主要应考虑如何便于对刀和测量,并做出统一规定。

对刀则是指操作者在启动程序之前,通过一定的测量手段,使刀位点与对刀点重合。可以用对刀仪对刀,其操作比较简单,测量数据也比较准确。也可以在数控机床上定位好夹具或安装好工件之后,使用量块、塞尺、千分表等,利用机床上的坐标显示对刀。

2. 刀具中心编程的数值计算

由于在许多情况下是用刀具中心作为刀位点的,因此刀位点轨迹的计算,又称为刀具中心轨迹的计算。

在需要计算刀具中心轨迹数据的数控系统中,要算出与零件轮廓的基点和节点相对应的刀具中心轨迹上的基点和节点坐标值。图 2-6 给出了用 $\phi 10$ mm 立铣刀加工某样板曲线时的起刀点位置和刀具中心运动轨迹。由图不难看出,刀具中心运动轨迹是零件轮廓的等距线,根据零件轮廓条件和刀具半径 r_f ,就可求出刀具中心轨迹。当零件轮廓是由直线段和圆弧段组成时,直线的等距线是与该直线平行、距离该直线为 r_f 的两条平行线。圆的等距线与该圆是同心圆,半径为 $R \pm r_f$,其中 R 为圆的半径, r_f 为刀具半径。等距线方程可表示如下:

$$\text{直线的等距线方程} \quad Ax + By = C \pm r_f \sqrt{A^2 + B^2}$$

$$\text{圆的等距线方程} \quad (x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 = (R \pm r_f)^2$$

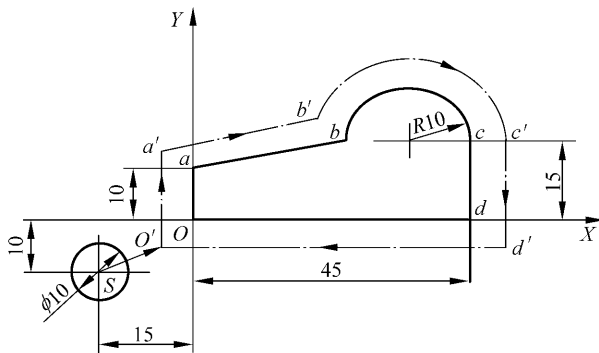


图 2-6 按刀具中心编程加工样板曲线

要求解等距线上的基点坐标,只需将相关等距线方程联立求解即可。以图 2-6 中 b' 点坐标的计算为例。首先根据 $a(0,10)$ 、 $b(25,15)$ 求出 $A=y_a-y_b=-5$ 、 $B=x_b-x_a=25$ 、 $C=y_ax_b-x_ay_b=250$ 、 $r_{\mathcal{N}}\sqrt{A^2+B^2}=5\sqrt{(-5)^2+25^2}=127.475$;并求出圆心坐标为: $O(35,15)$ 。

两等距线方程联立

$$\begin{cases} -5x + 25y = 250 + 127.475 \\ (x - 35)^2 + (y - 15)^2 = 19.22 \end{cases}$$

解出

$$x'_b = 20.606, \quad y'_b = 19.22$$

求解直线的等距线方程,当所求等距线在原直线上边时取“+”号,反之取“-”号;求解圆的等距线方程,当所求等距线为外等距线时取“+”号,求内等距线时取“-”号。

当零件的轮廓中包含非圆曲线时,应先按零件轮廓进行节点坐标计算,然后再求相应等距线之间的节点坐标。用直线段逼近时,则用两相邻直线对等距线方程求解;用圆弧段逼近时,用两圆弧段的等距线方程联立求解。采用相切的圆弧逼近时,不解方程组就可求出等距线节点数据。

3. 数控车床使用假想刀尖点时的偏置计算

在数控车削加工中,为了对刀的方便,总是以“假想刀尖”点来对刀。所谓假想刀尖点,是指图 2-7 中 M 点的位置。由于刀尖圆弧的影响,仅仅使用刀具长度补偿,而不对刀尖圆弧半径进行补偿,在车削锥面或圆弧面时,会产生欠切的情况。目前,较高级的车床控制系统,不仅具有刀尖圆弧半径补偿功能,而且可以根据刀尖的实际状况选择刀位点的位置,编程和补偿都十分方便。大多数车床用简易数控系统是不具备半径补偿功能的。因此,当零件精度要求较高且又有圆锥或圆弧表面时,要么按刀尖圆弧中心编程,要么在局部进行补偿计算。图 2-7 是车削锥体表面时由于刀尖圆弧半径 $r_{\mathcal{N}}$ 引起的刀位补偿量计算简图。

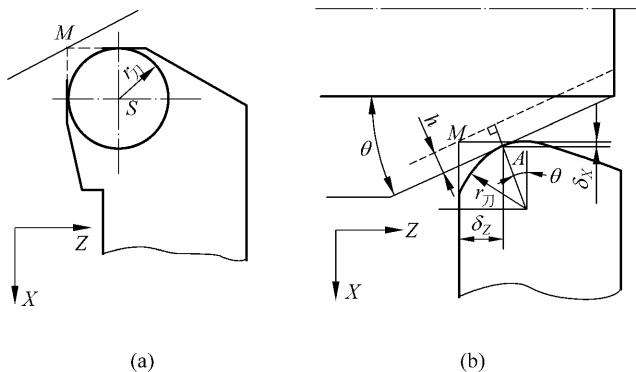


图 2-7 假想刀尖点编程时的补偿计算

当采用在 Z 向(纵向)与 X 向(径向)同时进行刀具位置补偿时,实际刀刃与工件接触点 A 移到编程时刀尖设定点 M 上, $r_{\mathcal{N}}$ 的补偿量可按下式计算:

$$\delta_Z = r_{\mathcal{N}} - r_{\mathcal{N}} \sin \theta = r_{\mathcal{N}} (1 - \sin \theta)$$

$$\delta_X = r_{\mathcal{N}} - r_{\mathcal{N}} \cos \theta = r_{\mathcal{N}} (1 - \cos \theta)$$

也可不用这种 Z 向或 X 向同时补偿的方法,而只在 Z 向或 X 向进行补偿。

因为

$$h = \sqrt{2}r_{\mathcal{N}} \cos(45^\circ - \theta) - r_{\mathcal{N}} = r_{\mathcal{N}} (\sin \theta + \cos \theta - 1)$$

所以 Z 向或 X 向的补偿量分别按下面公式计算：

$$\Delta Z = \frac{h}{\sin \theta} = r_n \left(1 - \tan \frac{\theta}{2} \right)$$

2.5 数控机床的基本功能

计算机数控(computer numerical control,CNC)系统现在普遍采用了微处理器,可以通过软件实现很多功能。数控系统有多种系列,性能各异。数控系统的功能通常包括基本功能和选择功能。基本功能是数控系统必备的功能,选择功能是供用户根据机床特点和用途进行选择的功能。CNC 系统的功能主要反映在准备功能 G 指令代码和辅助功能 M 指令代码上。根据数控机床的类型、用途、档次的不同,CNC 系统的功能有很大差别。

为了满足设计、制造、维修和普及的需要,在输入代码、坐标系、加工指令及程序格式等方面,国际上形成了两种通用的标准,即国际标准化组织(ISO)标准和美国电子工程协会(EIA)标准。我国原机械工业部根据 ISO 标准制定了 JB 3050—1982《数字控制机床穿孔符》、JB 3051—1982《数字控制机床坐标系和运动方向的命名》、JB 3208—1983《数字控制机床穿孔带程序段程式中的准备功能 G 和辅助功能 M 代码》。目前,由于各个数控机床生产厂家所用的标准尚未完全统一,其所用的代码、指令及其含义不完全相同,因此,在数控编程时必须按所用的数控机床编程说明书的规定进行。数控系统中常用的代码有 ISO 代码和 EIA 代码。

目前国际上广泛应用的是 ISO 标准。我国原机械工业部制定的 JB 3208—1983 标准与国际上使用的 ISO 1056—1975E 标准等效。

零件程序所用的代码,主要有准备功能(G 功能)、辅助功能(M 功能)、进给功能(F 功能)、刀具功能(T 功能)和主轴功能(S 功能)。一般数控系统中常用的 G 功能和 M 功能都与国际 ISO 标准中的功能一致,对某些特殊功能,ISO 标准中未指定的,按其数控机床控制功能的要求,数控生产厂家按需要进行自定义,并在其数控编程手册中加以具体说明。下面介绍 ISO 标准中常用的功能指令。

1. 控制功能

CNC 系统能控制的轴数和能同时控制(联动)的轴数是其主要性能之一。控制轴有移动轴和回转轴,有基本轴和附加轴。通过轴的联动可以完成轮廓轨迹的加工。一般数控车床只需二轴控制、二轴联动;一般数控铣床需要三轴控制、三轴联动或 2.5 轴联动;一般加工中心为多轴控制、多轴联动。控制轴数越多,特别是同时控制的轴数越多,要求 CNC 系统的功能就越强大,同时 CNC 系统也就越复杂,编制程序也越困难。

2. 插补功能

CNC 系统是通过软件插补来实现刀具运动轨迹控制的。由于轮廓控制的实时性很强,软件插补的计算速度难以满足数控机床对进给速度和分辨率的要求,同时,由于 CNC 不断扩展其他方面的功能也要求插补计算其所占用的 CPU 时间。因此,CNC 的插补功能实际上被分为粗插补和精插补。插补软件每次插补一个小线段的数据为粗插补;伺服系统根据粗插补的结果,将小线段分成单个脉冲的输出称为精插补。有的数控机床采用硬件进行精插补。

3. 准备功能(G 功能)

准备功能也称 G 功能或 G 代码,是使机床或数控系统建立起某种加工方式的指令。G 功能由地址符 G 及其后的两位数字组成,一般从 G00~G99 共 100 个。表 2-2 为准备功能 G 指令。

表 2-2 G 代码列表 (FANUC OU 系统)

G 代码	组	功 能	G 代码	组	功 能
G00	01	快速定位	G54	14	选择工件坐标系 1
G01		直线插补	G55		选择工件坐标系 2
G02		顺时针圆弧插补	G56		选择工件坐标系 3
G03		逆时针圆弧插补	G57		选择工件坐标系 4
G04	00	暂停	G58		选择工件坐标系 5
G07		圆柱插补	G59		选择工件坐标系 6
G10		可编程数据输入	G65	12	宏程序调用
G11	可编程数据输入取消	G66	宏程序模态调用		
G12	21	极坐标插补方式	G67		宏程序模态调用取消
G13		极坐标插补方式取消	G70	00	精加工循环
G17	16	XY 平面选择	G71		外圆/内圆粗加工复合循环
G18		XZ 平面选择	G72		端面粗加工复合循环
G19		YZ 平面选择	G73		仿形粗加工复合循环
G20	06	英制输入	G74		端面深孔钻削
G21		公制输入	G75		外径/内径钻孔
G22	09	存储行程检测有效	G76	00	螺纹切削复合循环
G23		存储行程检测无效	G80		固定钻削循环取消
G27	00	返回参考点检测	G83	10	平面钻孔循环
G28		自动返回参考点	G84		平面攻丝循环
G30		返回第 2、3、4 参考点	G85		正面镗削循环
G31		跳转功能	G87		侧钻循环
G32	01	螺纹切削	G88		侧攻丝循环
G40	07	刀尖圆弧半径补偿取消	G89		01
G41		刀尖圆弧半径左补偿	G90	外径/内径切削固定循环	
G42		刀尖圆弧半径右补偿	G92	螺纹切削固定循环	
G50	00	工件坐标系设定或限定定轴最高转速	G94	02	端面切削固定循环
			G96		恒线速切削速度控制
G52		局部坐标系设定	G97	05	恒线速切削速度控制取消
			G98		每分钟进给
G53	机床坐标系选择	G99	每转进给		

G 代码分为模态代码(又称续效代码)和非模态代码。所谓模态代码是指在程序中一旦指令生成就一直有效,非模态代码是指只在本程序段中有效。

4. 辅助功能(M 功能)

辅助功能也称 M 功能或 M 代码,由地址符 M 及其后面的两位数字组成,它是控制机床或系统的开关功能的一种指令,用以指定如主轴正反转、工件或刀具的夹紧与松开、系统切削液的开与关、程序结束等。表 2-3 为辅助功能 M 指令。

表 2-3 辅助功能 M 列表

代 码	功 能	代 码	功 能
M00	程序停止	M08	切削液打开
M01	选择停止	M09	切削液关闭
M02	程序结束	M30	程序结束
M03	主轴正转	M98	子程序调用
M04	主轴反转	M99	子程序调用结束
M05	主轴停止		

5. 进给功能(F 功能)

进给功能也称为 F 功能或 F 代码,由地址符 F 及其后面的数字组成,用来指定刀具相对于工件运动的速度或螺线的螺距、导程。当指进给速度时,其单位一般为 mm/min。该代码是模态代码,一般有代码指定法和直接指定法两种方法。

1) 代码指定法

F 后跟两位数字,这些数字不直接表示进给速度的大小,而是机床进给速度数列的序号。

2) 直接指定法

F 后跟的数字就是进给速度的大小,例如 F100 表示进给速度是 100 mm/min。这种指定方法较为直观,因此现在大多数数控机床均采用这一指定方法。按数控机床的进给功能,它也有两种速度表示法。

(1) 切削进给速度(每分钟进给量):对于直线轴如 F800 表示每分钟进给速度是 800 mm,对于回转轴如 F12 表示每分钟进给速度为 12°。

(2) 同步进给速度(每转进给量):主轴每转进给量规定的进给速度,如 0.5 mm/r。只有主轴上装有位置编码器的机床,才能实现同步进给速度。

6. 主轴功能(S 功能)

主轴功能也称主轴转速功能,即 S 功能,用来指定主轴的转速,由地址符 S 及其后的数字组成,单位是 r/min。如 S2000 表示主轴转速为 2000 r/min,该指令也是模态代码。

7. 刀具功能(T 功能)

刀具功能也称 T 功能,在自动换刀的数控机床中,该指令用来选择所需的刀具,同时也用来表示选择刀具偏置和补偿。T 功能由地址符 T 及其后的 2~4 位数字组成。如 T26 表示换刀时选择 26 号刀具。当用作刀具补偿时,T26 是指按 26 号刀具事先所设定的数据进行补偿。若用四位数码指令时,如 T0101,则前两位数字表示刀号,后两位数字表示刀补号。

由于不同的数控系统有不同的规定,具体应用时应按所用数控机床编程说明书中的规定进行。

8. 补偿功能

补偿功能是通过输入到 CNC 系统存储器的补偿量,根据编程轨迹重新计算刀具的运动轨迹和坐标尺寸,从而加工出符合要求的工件。补偿功能主要有以下两种:

(1) 刀具的尺寸补偿,如刀具长度补偿、刀具半径补偿和刀尖圆弧半径补偿。这些功能可以补偿刀具磨损以及换刀时对准正确位置。

(2) 丝杠的螺距误差补偿和反向间隙补偿或者热变形补偿。通过事先检测出的丝杠螺距误差和反向间隙,并输入到 CNC 系统中,在实际加工中进行补偿,从而提高数控机床的加工精度。

9. 字符、图形显示功能

CNC 控制器可以配置单色或彩色 CRT 或 LCD,通过软件和硬件接口实现字符和图形的显示。通常可以显示程序、参数、各种补偿量、坐标位置、故障信息、人机对话编程菜单、零件图形及刀具模拟移动轨迹等。

10. 报警功能

机床在操作或自动运行过程中,如果出现操作顺序或逻辑或格式上的错误,CNC 系统就会立刻出现报警状态,CRT 显示器上会显示出报警的编号、报警的内容及其他详细的内容。

11. 自诊断功能

为了防止故障的发生或在发生故障后可以迅速查明故障的类型和部位,以减少停机时间,CNC 系统中设置了各种诊断程序。不同的 CNC 系统设置的诊断程序是不同的,诊断的水平也不相同。诊断程序一般可以包含在系统程序中,在系统运行过程中进行检测和诊断;也可以在系统运行前或故障停机后进行诊断,查找故障的部位。有的 CNC 系统可以实现远程通信诊断或在线诊断以及网络诊断。

12. 通信功能

为了适应柔性制造系统(flexible manufacturing system,FMS)和计算机集成制造系统(computer integrated manufacturing system,CIMS)的需要,CNC 系统通常具有 RS232C 通信接口,有的还备有 DNC 接口或以太网接口。也有的 CNC 通过制造自动化协议(manufacturing automatic protocol,MAP)接入工厂的通信网络。

13. 人机交互图形编程功能

为了进一步提高数控机床的编程效率,对于 NC 程序的编制,特别是较为复杂零件的 NC 程序都要通过计算机辅助编程,尤其是利用图形进行自动编程,以提高编程效率。因此,现代 CNC 系统一般要求具有人机交互图形编程功能。有这种功能的 CNC 系统可以根据零件图直接编制程序,即编程人员只需送入图样上简单表示的几何尺寸就能自动地计算出全部交点、切点和圆心坐标,生成加工程序。有的 CNC 系统可根据引导图和显示说明进行对话式编程,并具有自动工序选择、刀具和切削条件的自动选择等智能功能。有的 CNC 系统(如日本 FANUC 系统)还备有用户宏程序功能。这些功能有助于那些未受过 CNC 编程专门训练的机械工人能够很快地进行程序编制工作。

2.6 数控程序编制的工艺处理

2.6.1 数控加工工艺分析的特点

数控机床的加工工艺与通用机床的加工工艺有许多相同之处,但在数控机床上加工零件比通用机床加工零件的工艺规程要复杂得多。在数控编程前要对所加工的零件进行工艺过程分析。工艺过程分析的基本内容是拟订加工方案,确定加工机床、加工路线和加工内容,选择合适的刀具和切削用量,确定合适的装夹方法甚至设计夹具等。在编程中,还需要进行数学处理、误差分析等,对一些特殊的工艺问题(如对刀点、刀具轨迹路线设计等)也应做一些处理,因此,在编程中的工艺分析处理是数控加工的关键工作。这就要求程序设计人员具有多方面的知识基础,合格的程序员首先是一个合格的工艺人员,否则就无法做到全面周到地考虑零件加工的全过程,以及正确、合理地编制零件的加工程序。

2.6.2 数控加工工艺的主要内容

- (1) 选择并决定零件适合在数控机床上加工的内容。
- (2) 对零件进行数控加工工艺性分析,明确数控加工的内容及要求。
- (3) 设计加工工序,包括刀具的选择、定位方式的确定、装夹方式的确定、夹具的选择设计及切削用量等工艺参数的确定。
- (4) 特殊工艺问题的处理,如对刀点、换刀点确定,刀具补偿,分配加工误差等。
- (5) 刀具轨迹路线及相应参数的确定。
- (6) 工艺文件的编制。

2.6.3 零件的加工工艺性分析

数控加工工艺性分析涉及的内容很多,其立足点是技术经济性。

1. 数控加工内容的确定

某个零件需要进行数控加工,并不是说该零件所有的工序都需要进行数控加工,需要进行数控加工的往往只是其中的一部分。因此,必须对零件的形状和技术要求进行仔细分析,确定哪些是适合、需要进行数控加工的内容和工序。选择需要进行数控加工的内容和工序,一般需要考虑:

- (1) 通用机床无法加工的内容应作为优先进行数控加工的内容。
- (2) 通用机床难加工、质量也难以保证的内容应作为重点选择进行数控加工的内容。
- (3) 通用机床加工效率低,手工操作劳动强度大、质量不稳定的内容,可以考虑采用数控加工。

2. 数控加工方案的确定

1) 机床的选用

在数控机床上加工零件,一般有以下两种情况:一种是有零件图样和毛坯,要选择适合加工该零件的数控机床;另一种是已经有了数控机床,要选择适合该机床加工的零件。无论哪种情况,对于加工对象来说,考虑的因素主要有毛坯的材料和类型、零件形状的复杂程度、

尺寸大小、加工精度、零件数量、热处理要求等。对于机床来说,主要有数控机床的行程、联动轴数、机床精度和功率等。概括起来,机床的选用要满足以下要求:

- (1) 保证加工零件的技术要求,能够加工出合格产品。
- (2) 有利于提高生产率。
- (3) 可以降低生产成本。

2) 加工方法的选择

加工方法的选择原则是保证加工表面的精度和表面粗糙度的要求。由于获得同一级精度及表面粗糙度的加工方法一般有许多,因而在实际选择时,要结合零件的形状、尺寸大小和热处理要求等全面考虑。例如,对 IT7 级精度的孔采用镗削、铰削、磨削等加工方法均可达到精度要求,但箱体上的孔一般采用镗削或铰削,而不宜采用磨削。一般小尺寸箱体孔选择铰孔,当孔径较大时则应选择镗孔。此外,还应考虑生产率和经济性的要求,以及工厂的生产设备等实际情况。常用加工方法的经济加工精度及表面粗糙度可查阅有关工艺手册。

3. 工艺路线的设计

数控工艺路线设计是下一步工序设计的基础,其设计的质量会直接影响到零件的加工质量与生产效率。设计工艺路线时应根据零件结构和技术要求认真分析,结合数控加工的特点,灵活运用切削工艺的一般原则,在用计算机辅助制造(computer-aided manufacturing, CAM)系统进行编程时还要考虑 CAM 系统的特点,合理安排数控加工工艺路线。

数控加工工艺路线设计与通用机床加工工艺路线设计的主要区别在于,它往往不是指从毛坯到成品的整个工艺过程,而仅是几道数控加工工艺过程的具体描述。因此在工艺路线设计中一定要注意,由于数控加工工序一般都穿插于零件加工的整个工艺过程中,因而要与其他加工工艺衔接好。

1) 工序的划分

在数控机床上加工零件,工序应比较集中,在一次装夹中应尽可能完成大部分工序。首先应根据零件图样,考虑被加工零件是否可以在一台数控机床上完成整个零件的加工工作,若不能,则应确定零件的哪一部分需用数控机床加工,即对零件进行工序划分。一般工序划分有以下几种方式。

(1) 按零件装夹定位方式划分工序。由于每个零件结构形状不同,各表面的技术要求也往往不同,所以加工时的定位方式各有差异。一般加工外形时以内形定位,加工内形时以外形定位,因而可根据定位方式的不同来划分工序。

(2) 按粗、精加工划分工序。根据零件的加工精度、刚度和变形等因素来划分工序时,可按粗、精加工分开的原则来划分工序,即先粗加工再精加工,此时可用不同的机床或不同的刀具进行加工。

(3) 按所用刀具划分工序。为了减少换刀次数,压缩空程时间,减少不必要的定位误差,可按刀具集中工序的方法加工零件。即在一次装夹中,尽可能用同一把刀具加工出所有可能加工的部位,然后再换另一把刀具加工其他部位。在专用数控机床和加工中心上常采用这种方法。

(4) 以加工部位划分工序。对于加工内容很多的工件,可按其结构特点将加工部位分成几个部分,如内腔、外形、曲面或平面,并将每一部分的加工作为一道工序。

2) 工步的划分

工步的划分主要从加工精度和效率两方面考虑。在一个工序内往往要采用不同刀具和切削用量,对零件的不同部分进行加工。为了便于分析和描述较复杂的工序,在工序内又细分为工步。下面以加工中心为例来说明工步划分的原则。

(1) 同一表面按粗加工、半精加工、精加工依次完成,整个加工表面按先粗加工后精加工分开进行。

(2) 对于既有铣面又有镗孔的零件,可先铣面后镗孔。这样划分工步,可以提高孔的加工精度。因为铣削时切削力较大,工件易发生变形,先铣面后镗孔,使其有一段时间恢复,可减少由变形引起的对孔的精度影响。

(3) 某些机床工作台回转时间比换刀时间短,可采用按刀具划分工步,以减少换刀次数,提高加工效率。

(4) 在自动编程时要考虑 CAM 系统的刀具轨迹生成方法的划分,即将工步与某种刀具轨迹生成方法(如 UG 中的一个 OPERATION)相对应。

总之,工序与工步划分要根据具体零件的结构特点、技术要求等情况综合考虑。

3) 加工顺序的安排

加工顺序的安排应根据零件的结构和毛坯状况,以及定位与夹紧的需要来考虑,重点应保证工件的刚性不被破坏。顺序安排一般应按下列原则进行:

(1) 按粗加工、半精加工、精加工的顺序安排加工顺序。

(2) 上道工序的加工不能影响下道工序的定位与夹紧,中间穿插有通用机床加工工序的也要综合考虑。

(3) 一般情况下,先进行内腔加工工序,后进行外形加工工序。

(4) 以相同定位、夹紧方式或同一把刀具加工的工序,最好连续进行,以减少重复定位次数、换刀次数与压板挪动次数。

(5) 在同一次装夹中进行的多道工序,应先安排对工件刚性破坏较小的工序。

4) 数控加工工序与普通加工工序的衔接

数控工序前后一般都穿插有其他普通工序,如衔接得不好就容易产生矛盾,最好的办法是相互建立状态要求。例如:要不要留加工余量,如果留则留多少;定位面与孔的精度要求及形位公差对校形工序的技术要求;毛坯的热处理状态等。其目的是达到相互能满足加工需要且质量目标及技术要求明确,使交接验收有依据。关于手续问题,如果是在同一个车间,可由编程人员与主管该零件的工艺员共同协商确定,在制定工序工艺文件中互审会签,共同负责;如不是同一车间,则可以用交接状态表进行规定,共同会签,然后反映在工艺流程中。

现在 CAM 软件已经得到普及应用,在设计工艺路线时还需要考虑 CAM 软件的特点。如在 UG 中,一个操作(OPERATION)相当于一个工步,操作是按刀具、加工方法、几何形状和程序来组织的,因此工艺路线可以通过不同的视图反映,非常方便。实际上,由于 CAM 软件的应用,使得复杂零件的编程成为可能,可以方便地进行组合曲面的编程,因此工艺路线的安排也随之发生了变化。

4. 走刀路线的确定

在数控加工中,刀具刀位点相对于工件的运动轨迹称为走刀路线。编程时,走刀路线的